

引用格式:张鹏,黄宇琪,张金川,等.黔西北五峰-龙马溪组页岩气成藏条件综合评价[J].山东科技大学学报(自然科学版),2019,38(3):25-34.

ZHANG Peng, HUANG Yuqi, ZHANG Jinchuan, et al. Comprehensive evaluation of shale gas reservoir conditions of Wufeng-Longmaxi formation in Northwest Guizhou[J]. Journal of Shandong University of Science and Technology (Natural Science), 2019,38(3):25-34.

# 黔西北五峰-龙马溪组页岩气成藏条件综合评价

张 鹏<sup>1</sup>, 黄宇琪<sup>1</sup>, 张金川<sup>2</sup>, 魏晓亮<sup>2</sup>, 杨军伟<sup>1</sup>

(1. 六盘水师范学院 矿业与土木工程学院, 贵州 六盘水 553004; 2. 中国地质大学(北京) 能源学院, 北京 100083)

**摘 要:**通过黔西北五峰-龙马溪组页岩岩心样品地球化学、岩石矿物学、储层孔隙和含气量等成藏条件分析发现,五峰-龙马溪组有机质产率高,还原环境强,有机碳含量 4.15%~8.46%,古生物以甲藻等水生生物占优势,有机质类型以 I 型为主,有机质成熟度 2.34%~3.96%,处于成熟-高成熟阶段。页岩矿物成分以黏土矿物和石英为主,平均含量分别为 42.6%和 27.9%,具有良好的脆性。页岩孔隙类型主要为粒间孔、粒内孔、有机质孔和微裂缝,孔隙表面粗糙程度中等,吸附能力中等,孔隙结构复杂。现场解析实验数据测得五峰-龙马溪组的含气量为 0.04~2.81 m<sup>3</sup>/t,气体主要成分为 CH<sub>4</sub>。黔西北五峰-龙马溪组虽然具有良好的页岩气成藏条件,但不同地区页岩含气性差异较大,后期保存条件是影响页岩气能否富集的关键因素。

**关键词:**页岩气;黔西北;五峰-龙马溪组;孔隙分形;奥陶纪

中图分类号:P618.130.21

文献标志码:A

文章编号:1672-3767(2019)03-0025-10

DOI: 10.16452/j.cnki.sdkjzk.2019.03.003

## Comprehensive evaluation of shale gas reservoir conditions of Wufeng-Longmaxi formation in Northwest Guizhou

ZHANG Peng<sup>1</sup>, HUANG Yuqi<sup>1</sup>, ZHANG Jinchuan<sup>2</sup>, WEI Xiaoliang<sup>2</sup>, YANG Junwei<sup>1</sup>

(1. School of Mining and Civil Engineering, Liupanshui Normal University, Liupanshui, Guizhou 553004, China;

2. School of Energy, China University of Geosciences (Beijing), Beijing 100083, China)

**Abstract:** The shale reservoir conditions such as the geochemical, mineralogical porous and gas content conditions were analyzed based on the study of shale core samples of Wufeng-Longmaxi formation in Northwest Guizhou. It is found that with an organic content of 4.15%-8.46%, the Wufeng-Longmaxi formation is of high yield of organic matter and strong reduction environment. Aquatic organisms such as dinoflagellates are the dominant ancient creature. With type I as its main form and a maturity of 2.34%-3.96%, the organic matter is in its high-mature stage. Mainly composed of clay minerals and quartz, whose average contents are 42.6% and 27.9% respectively, the shale has good brittleness. With intergranular pore, intragranular hole, organic pore and micro crack as the main types, the shale pores have medium roughness pore surface, medium adsorption capacity, and complex pore structures. The data obtained from field experiments shows that the gas content of Wufeng-Longmaxi formation is 0.04-2.81 m<sup>3</sup>/t and the main composition of gas is CH<sub>4</sub>. Although the shale reservoir conditions of Wufeng-Longmaxi

收稿日期:2018-09-10

基金项目:贵州省科技计划项目(黔科合基础[2017]1420);贵州省教育厅青年科技人才成长项目(黔教合 KY 字[2016]266号);贵州省教育厅创新群体重大项目(黔教合 KY 字[2018]029)

作者简介:张 鹏(1986—),男,山东济南人,副教授,博士,主要从事页岩油气勘探开发方面的研究。

E-mail:zhangpeng8611@126.com

formation in Northwest Guizhou are good, the preservation conditions are the key factors to determine the shale enrichment due to the different gas contents in different regions.

**Key words:** shale gas; Northwest Guizhou; Wufeng-Longmaxi formation; pore fractal; Ordovician

页岩气作为一种重要的非常规天然气资源,具有自生自储、原地聚集成藏的特点<sup>[1]</sup>,是传统能源结构的重要补充。国内众多学者对我国页岩气成藏机理与条件<sup>[2]</sup>、保存条件<sup>[3]</sup>和选区评价<sup>[4-5]</sup>等进行了研究,认为我国南方地区晚奥陶纪—早志留纪的五峰-龙马溪组是页岩气勘探的重点层系。全国页岩气资源评价项目对贵州省富有机质页岩层系和页岩气成藏参数进行了初步评价,优选出页岩气勘探开发重点层系,童川川等<sup>[6]</sup>研究发现黔西北地区五峰-龙马溪组页岩分布广泛且厚度稳定;胡晨林和易同生等<sup>[7-8]</sup>通过对黔西北地区页岩地球化学特征和储层特征研究,发现黔西北地区五峰-龙马溪组具有较大的页岩气资源潜力;雷子慧等<sup>[9]</sup>通过对正安向斜五峰-龙马溪组页岩气成藏条件发现,页岩层系后期的保存条件是影响页岩气能否富集的关键因素。

贵州原型盆地经过印支期-喜马拉雅期的构造运动被强烈改造,页岩广泛遭受了强变形与强改造作用,抬升剥蚀、断裂破碎、冲断推覆、火山岩浆侵入等作用使页岩及地层连续性与完整性遭受了严重破坏,造成贵州省页岩气成藏条件的复杂性。虽然黔西北各套富有机质页岩具有普遍含气特征,但由于页岩气的保存条件至关重要,同一层位在不同地区含气差异性较大。本文在前人对黔西北页岩气富集规律和成藏条件分析基础上,结合黔西北地区构造演化特征,分析了黔西北地区五峰-龙马溪组页岩形成环境对页岩气成藏条件的约束作用,细化五峰-龙马溪组页岩地球化学、储层含气量等成藏参数,引入分形维数分析孔隙结构和后期保存条件对页岩含气性的影响,以期对黔北页岩气资源储量的精细评价和后期勘探开发评价提供理论依据。

## 1 地质背景

研究区位于扬子板块的黔中隆起区和滇黔北坳陷区,地理位置上处于赫章县-镇宁一线北东侧,贵阳-遵义-绥阳一线北西侧的广大地区,震旦系到第四系均有出露,且多为整合接触。构造形式主要有褶皱、断层、平行不整合、角度不整合等,构造行迹展布方向为北东向及近南北向,构造样式以隔槽式褶皱组合为主,部分为穹窿-构造盆地及短轴背向斜组合。其中习页1井(贵州习水县)和桐页1井(贵州桐梓县)是针对五峰-龙马溪组含气页岩段分布、页岩气地质特征及含气性特征研究的两口探井,本研究实验数据来自2口钻井页岩岩心测试数据,排除了风化作用等对页岩物理化学性质的影响。

## 2 实验和测试数据

样品测试内容包括:页岩有机地化特征(有机碳含量、镜质体反射率和干酪根显微组分)、储层特征(矿物组成、孔隙类型和低温 $N_2$ 吸附-脱附)和含气性特征(现场解析)3部分。

页岩有机碳含量(GB/T 19145—2003)采用LECO-CS230碳硫分析仪测定;镜质体反射率(SY/T 5125—20142)和干酪根显微组分(SY/T 5124—201),采用Axio Scope A1显微光度计测定;页岩全岩及黏土矿物组成(SY/T 5163—2010)采用荷兰PANalytical公司的X'Pert Powder X射线衍射仪测定;页岩孔隙类型(GB/T 16594—2008)采用美国Gatan公司Ilion II 697型氦离子抛光仪和德国ZEISS公司Merlin Compact场发射扫描电镜仪器测定;低温 $N_2$ 吸附(GB/T 19587—2004)采用比表面测定仪Quadratorb SI测定;页岩含气量采用中国地质大学(北京)自主研发的全自动页岩含气量解吸仪现场测定(表1)。

## 3 沉积环境与页岩厚度

中—晚奥陶世扬子陆块与华夏地块间的汇聚挤压和“陆内造山”制约了区内沉积相带的分布,研究区由南向北依次为滨岸相、潮坪相、浅水陆棚相和深水陆棚相。五峰组和龙马溪组底部为深水陆棚沉积,岩性主要为深黑色-黑色钙质、碳质页岩,见黄铁矿和笔石纲化石;龙马溪组中部为浅水陆棚沉积,岩性主要为灰黑

表 1 黔西北五峰-龙马溪组页岩测试数据

Tab. 1 Experimental data of shale samples from Wufeng-Longmaxi formation in Northwest Guizhou

井	深度/m	TOC/%	R <sub>o</sub> /%	矿物组成/%						有机质组成/%		
				石英	斜长石	方解石	白云石	黄铁矿	黏土	腐泥组	镜质组	惰质组
习页 1 井	636.5	4.08	3.96	55.70	3.60	7.90	7.60	3.50	20.10	95	3	2
	629.0	1.22	3.12	38.90	9.30	10.40	8.10	1.60	29.90	98	2	0
	633.0	3.35	2.58	33.20	4.50	12.70	6.50	4.10	37.40	98	2	0
	627.0	0.97	3.32	37.90	7.80	6.00	3.90	1.30	40.10	97	1	2
	631.0	1.26	2.94	40.20	9.40	5.80	4.40	1.50	36.30	96	2	2
	639.0	3.72	3.17	69.04	2.50	3.40	2.60	2.10	18.90	95	5	0
	635.0	3.25	3.22	45.00	5.80	9.70	3.20	3.70	30.80	96	3	1
	643.5	4.20	3.20	57.60	4.60	6.40	10.40	2.00	17.90	95	2	3
	641.0	3.61	3.86	69.90	2.20	7.50	3.20	1.80	15.40	96	3	1
	645.0	4.95	3.70	63.50	3.30	5.10	6.70	2.60	18.80	96	2	2
桐页 1 井	665.0	0.45	1.83	18.52	5.18	59.06	1.30	15.94	18.52	95	3	2
	663.0	6.25	1.94	35.94	6.65	39.19	1.05	16.53	35.94	98	2	0
	660.0	4.15	2.06	38.92	7.37	12.05	2.37	39.29	38.92	98	2	0
	655.0	0.45	2.53	35.27	21.04	11.35	0.71	31.62	35.27	97	1	2
	647.0	0.53	2.52	34.43	8.29	11.57	0.85	44.87	34.43	96	2	2
	644.0	0.48	2.75	29.35	17.04	12.59	0.84	40.17	29.35	95	5	0
	669.0	8.46	2.12	17.60	5.19	48.86	0.95	27.40	17.60	96	3	1
	672.0	4.39	1.95	52.81	5.38	14.29	0.75	26.77	52.81	95	2	3
	675.0	5.68	2.01	61.34	7.77	11.85	2.71	16.34	61.34	96	3	1
	678.0	5.25	2.38	45.14	8.74	1.33	1.99	42.81	45.14	96	2	2

色-黑色粉砂质、钙质页岩,页岩层理发育,断面可见笔石纲化石和双壳类化石;顶部为泥灰质浅水陆棚相沉积,岩性主要为灰黑色砂质页岩与灰色条带灰岩互层。黔西北五峰-龙马溪组自下而上相对海平面持续下降,从深水陆棚相逐渐演化为浅水陆棚相(图 1)。

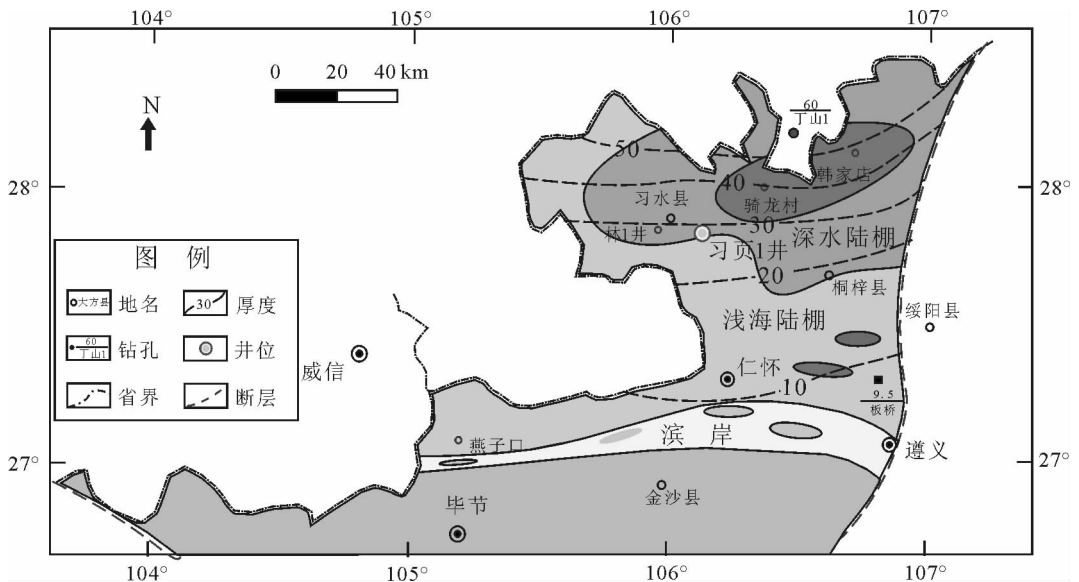


图 1 黔西北五峰组-龙马溪组沉积相及页岩厚度图

Fig. 1 Sedimentary facies and shale thickness of Wufeng-Longmaxi formation in Northwest Guizhou

五峰-龙马溪组主要出露于黔西北地区,即毕节-遵义-石阡-铜仁一线以北,页岩厚度由北向南变薄,其中尤以骑龙村和韩家店地区厚度最大,超过 40 m,骑龙村附近最厚可达 50 m,遵义地区完全消失(图 1)。

### 4 页岩地球化学特征

#### 4.1 有机碳含量

通过对两口钻井有机碳含量和常微量元素综合分析发现,五峰-龙马溪组页岩沉积环境变化具有明显的阶段性:五峰组为还原环境阶段( $V/(V+Ni)>0.54, Ni/Co>7, V/Cr>4.25$ ), TOC 含量最高可达 4.95%;五峰组顶部则出现短暂的氧化环境,沉积了一套以壳相化石为主的碳酸盐岩层, TOC 含量 0.97%;龙马溪组底部为还原环境, TOC 含量为 4.15%~6.29%;龙马溪组中上部  $V/(V+Ni)$ 、 $Ni/Co$  和  $V/Cr$  值异常波动,指示还原-氧化环境波动, TOC 含量 0.38%~0.54%。五峰-龙马溪组 TOC 的阶段性特征与构造-沉积环境演化相对应,海洋藻类有机碳的  $^{13}C_{org}$  值通常是  $-20‰\sim-22‰$ <sup>[10-12]</sup>,黔西北五峰-龙马溪组有机质的  $^{13}C_{org}$  值普遍低于  $-28‰$ ,出现明显的负漂移,反映了五峰-龙马溪组为普遍缺氧的沉积环境,有利于有机质的保存(图 2)。

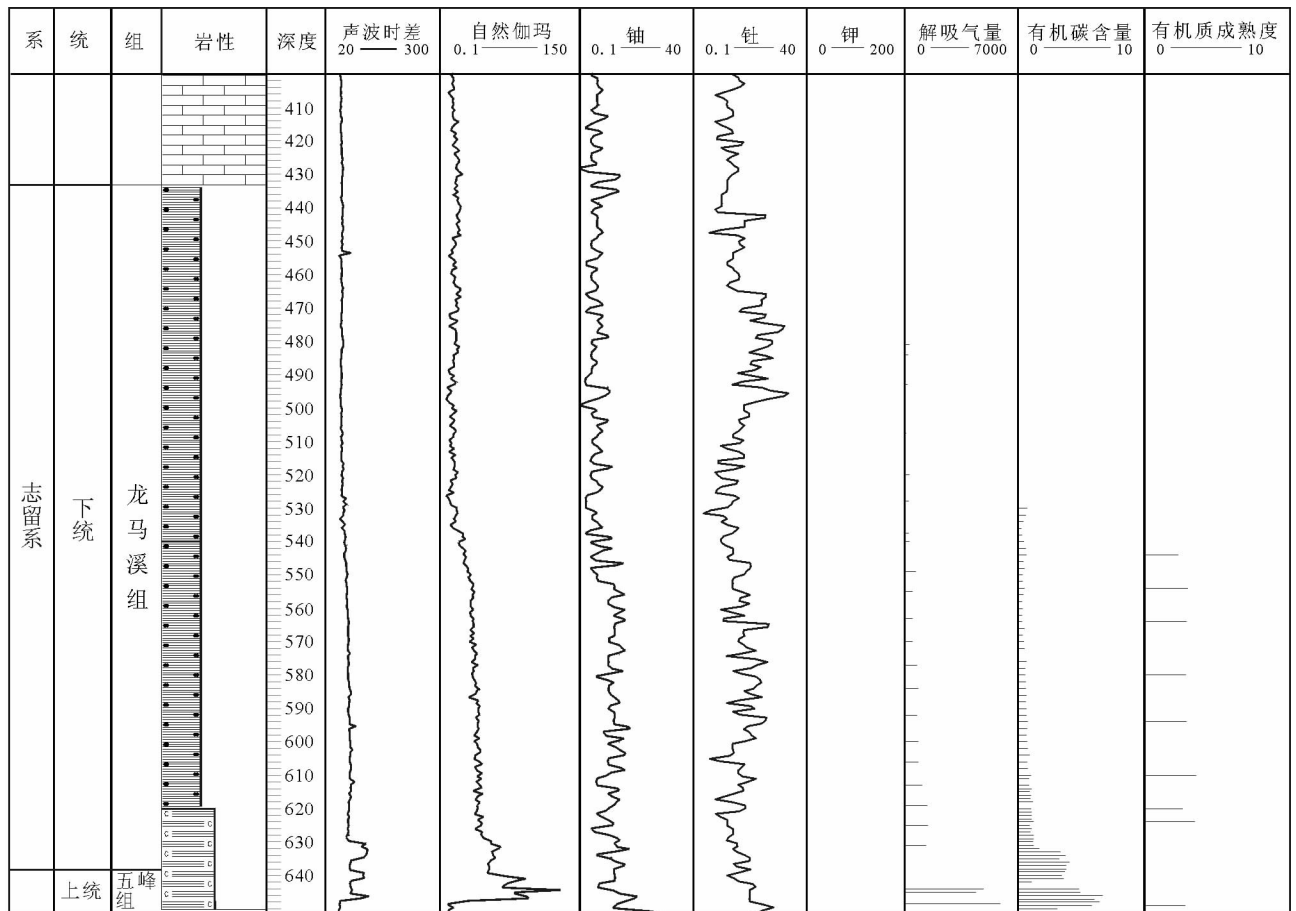


图 2 习页 1 井五峰-龙马溪组页岩地球化学评价图

Fig. 2 Geochemical evaluation of Wufeng-Longmaxi formation shale in well Xiye 1

#### 4.2 有机质类型和成熟度

五峰-龙马溪组缺少陆源碎屑和高等植物输入,古生物以甲藻与浮游绿藻占优势<sup>[12]</sup>,干酪根显微组分主要以分散状腐泥组(39%~67%)和块状沥青组(4%~28%)为主,缺少壳质组、镜质组和惰质组。干酪根类

型指数为 67~81,以 I 型和 II<sub>1</sub> 型为主。页岩样品有机质成熟度分布范围在 1.83%~3.96%,平均值为 2.66%。

## 5 页岩储层特征

### 5.1 矿物组成

黔西北五峰-龙马溪组矿物成分以黏土矿物和石英为主,平均含量分别为 42.6%和 27.9%;其次为碳酸盐岩矿物,平均含量 19.7%,还有少量的长石、石膏和黄铁矿等矿物(图 3(a))。黏土矿物主要为伊利石(32%~76%)、高岭石(3%~17%)、绿泥石(5%~28%)和伊/蒙混层(8%~37%),伊/蒙混层中,伊利石层含量占 85%以上。五峰组和龙溪组底部页岩中石英含量高达 60%~70%,且石英含量与页岩中 TOC 含量呈正相关关系(图 3(b)),黏土矿物与页岩中 TOC 含量呈先正后负的关系(图 3(c)),说明五峰组和龙马溪组底部在缺少陆源碎屑输入的情况下,页岩中的硅质多为生物成因。随着海平面逐渐下降,龙马溪组中上部石英多为陆源碎屑输入,龙马溪组中上部黏土矿物和 TOC 含量正相关。黏土矿物和碎屑矿物呈此消彼长的趋势,底部石英含量高,向上逐渐减少。

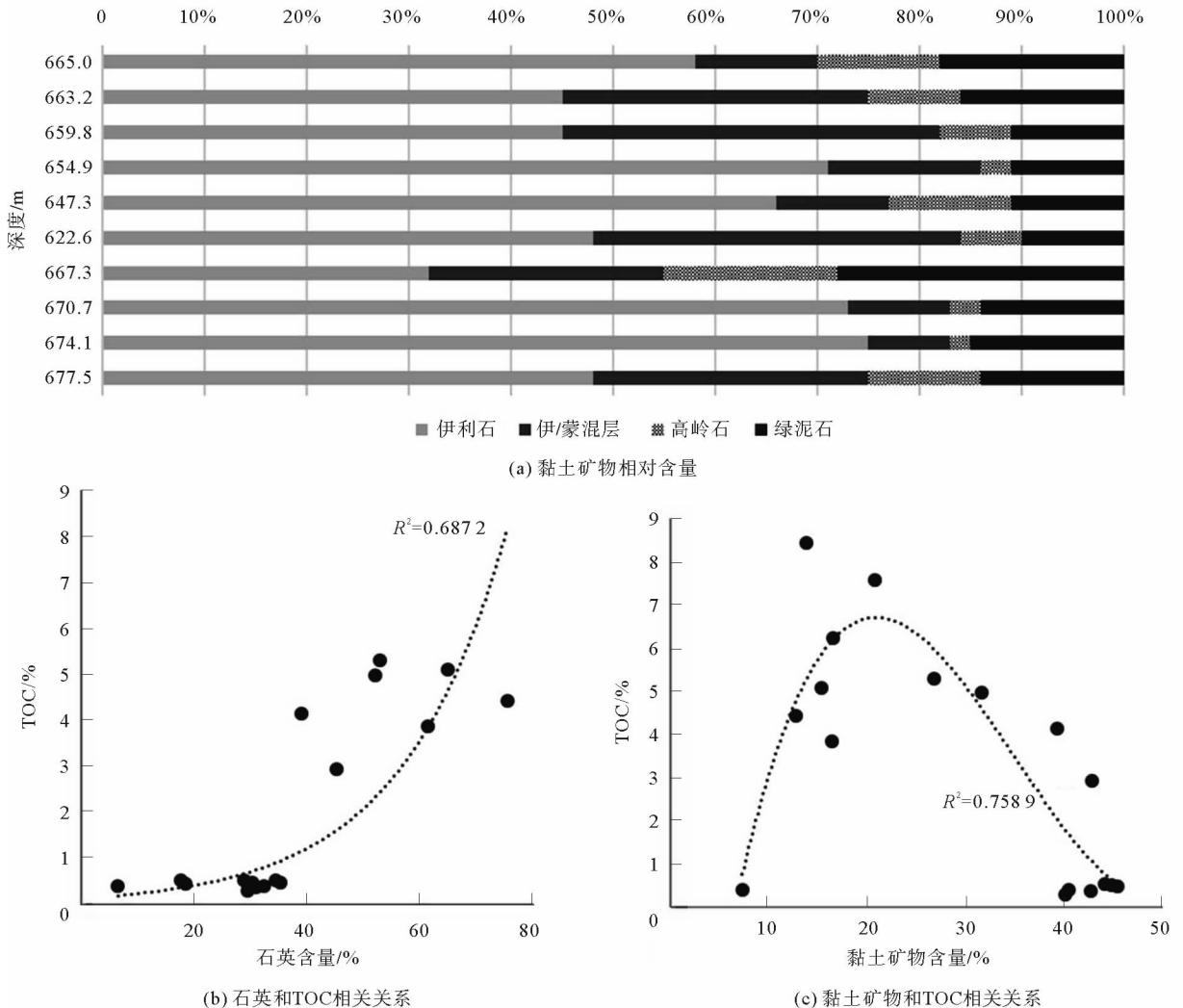


图 3 桐页 1 井页岩矿物组成特征

Fig. 3 Mineral composition characteristics of shale in well Tongye 1

### 5.2 力学特性

采用 Rickman 等<sup>[13]</sup>建立的弹性参数脆性指数  $BI(E$ —杨氏模量,  $\nu$ —泊松比)综合表征研究区页岩的脆性水平,即:

$$BI = \left( \frac{E - E_{min}}{E_{max} - E_{min}} + \frac{\nu - \nu_{min}}{\nu_{max} - \nu_{min}} \right) / 2。$$

计算发现,7个样品页岩脆性指数分布范围 29%~73%,平均 50%,说明页岩脆性强,后期水力压裂容易形成诱导裂缝网络。一般来说,黏土矿物和有机质有微孔发育并具有较高的比表面积,对气体的吸附能力强,而石英和长石等碎屑矿物含量的增加,有利于天然裂缝的形成,为游离气提供储集空间,提高泥页岩的储集和渗流性能,因此在评价研究区页岩储层的力学特征时,须综合考虑黏土矿物、含水饱和度、石英及碳酸盐含量之间的平衡关系。

### 5.3 储集空间类型

结合前人<sup>[14]</sup>对孔隙的划分方案,研究区内页岩孔隙主要为粒内孔、粒间孔、微裂缝和有机质孔 4 种类型,粒内孔主要形成于矿物颗粒内部,多为草莓状黄铁矿晶间孔、溶蚀孔和片状黏土矿物粒内孔等,形状多不规则;粒间孔多为原生孔隙,呈多角形和拉长型,主要发育在矿物颗粒接触处,本次实验见伊/蒙混层矿物聚合体中的粒间孔和矿物颗粒接触晶间孔(图 4(a)、4(b)),其中黏土矿物粒内孔较发育,可见一定数量的溶蚀孔(图 4(c)、4(d)、4(e))。研究区有机质孔隙较发育,从上部到底部,有机孔的数量逐渐增加(图 4(e))。五峰-龙马溪组页岩样品中微裂缝主要为黏土矿物成岩转化过程中伴随体积缩小形成的收缩缝和构造作用产生的微裂缝(图 4(b)、4(f))。利用研究区大量实验数据,回归孔隙度的计算公式为:

$$\Phi = \rho \times A_{黏土矿物} \times V_{黏土矿物} + \rho \times A_{有机质} \times V_{有机质} + \rho \times A_{脆性矿物} \times V_{脆性矿物}。$$

其中,  $\Phi$  为页岩孔隙度,  $A$  代表矿物百分含量,  $V$  表示单位页岩单位质量孔隙体积。计算发现,研究区有机质孔隙占 60%以上,其次为黏土矿物层间孔和脆性矿物粒间孔,这与五峰-龙马溪组页岩的高有机质含量和高过热成熟度有关。

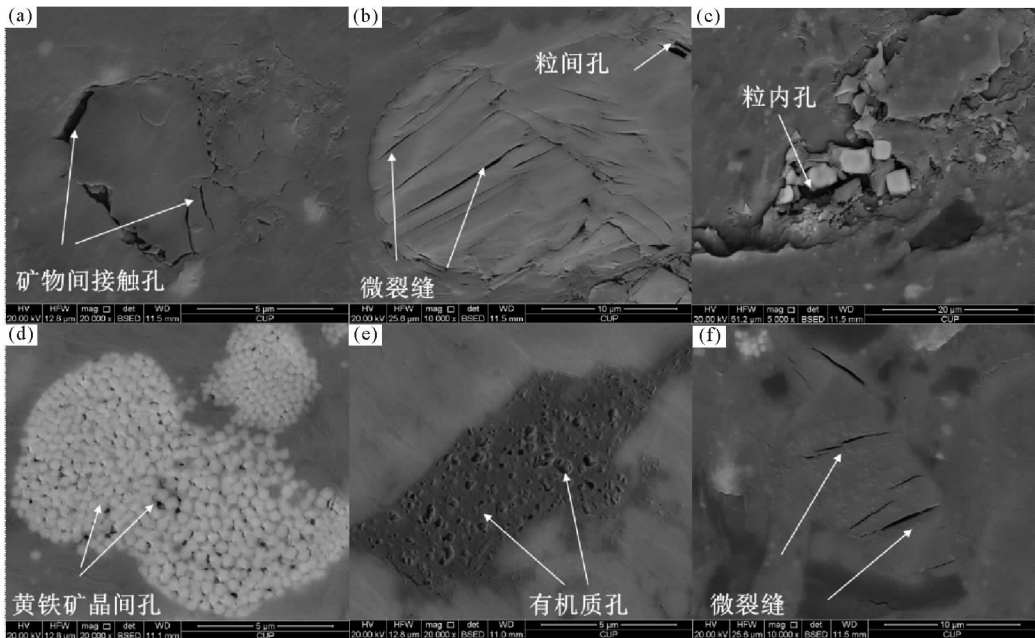


图 4 黔西北五峰-龙马溪组页岩孔隙类型

Fig. 4 Shale pore types of Wufeng-Longmaxi formation in Northwest Guizhou

## 5.4 孔隙形态

由于页岩孔隙形态多样、孔径分布范围广、孔吼细小,造成了页岩孔隙结构的复杂性,前人常用分形理论来表征页岩孔隙的复杂性<sup>[15-16]</sup>。通过低温氮气吸附-脱附实验,测得研究区五峰-龙马溪组比表面积为 $10.735\sim 24.646\text{ m}^2/\text{g}$ ,平均 $17.746\text{ m}^2/\text{g}$ ;孔径 $5.45\sim 8.03\text{ nm}$ ,平均 $6.49\text{ nm}$ 。由页岩吸附-脱附曲线形态发现(图5),曲线斜率变化较大且有明显拐点,页岩样品在低压区( $P/P_0 < 0.6$ )气体吸附量较小,随相对压力的增大,吸附量增大、速率增加。通过与IUPAC等温线分类标准对比发现,页岩吸附曲线出现 $H_3$ 型滞后环,属于IV型等温线,反应由于页岩中黏土矿物所占比例高,片状颗粒较多,页岩孔隙类型多为中孔,孔隙形态多为狭缝型,其次发育少部分楔形及墨水瓶型孔隙<sup>[15-17]</sup>。部分样品的吸附-脱附曲线出现低压区不闭合的现象(图5),是由于页岩发生膨润现象造成的。

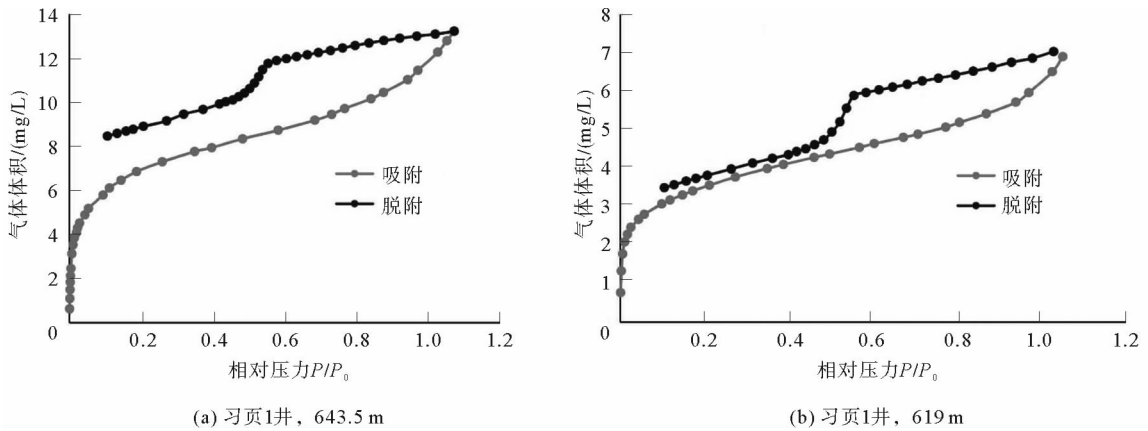


图5 黔西北五峰-龙马溪组页岩低温 $N_2$ 吸附脱附曲线

Fig. 5  $N_2$  adsorption-desorption isotherms of Wufeng-Longmaxi formation in Northwest Guizhou

## 5.5 孔隙结构

采用FHH孔隙分形模型<sup>[17]</sup>,通过研究区页岩低温氮气吸附-脱附实验结果计算分形维数,通常岩石孔隙分形维数 $D$ 介于 $2\sim 3$ 之间,数值接近2则反映孔隙结构简单、表面规则、均质性较强,而数值接近3则反映孔隙结构复杂、表面不规则、非均质性强、流体流动阻力较强<sup>[18]</sup>。区内页岩吸附-脱附曲线滞后环发生在相对压力为0.5处,对应页岩样品孔隙分形维数呈现两种不同的分形特征,且两段曲线均有较高的拟合度(图6)。将相对压力为 $0\sim 0.5$ 的一段曲线计算得出的分形维数值记为 $D_1$ ,相对压力为 $0.5\sim 1.0$ 的一段拟

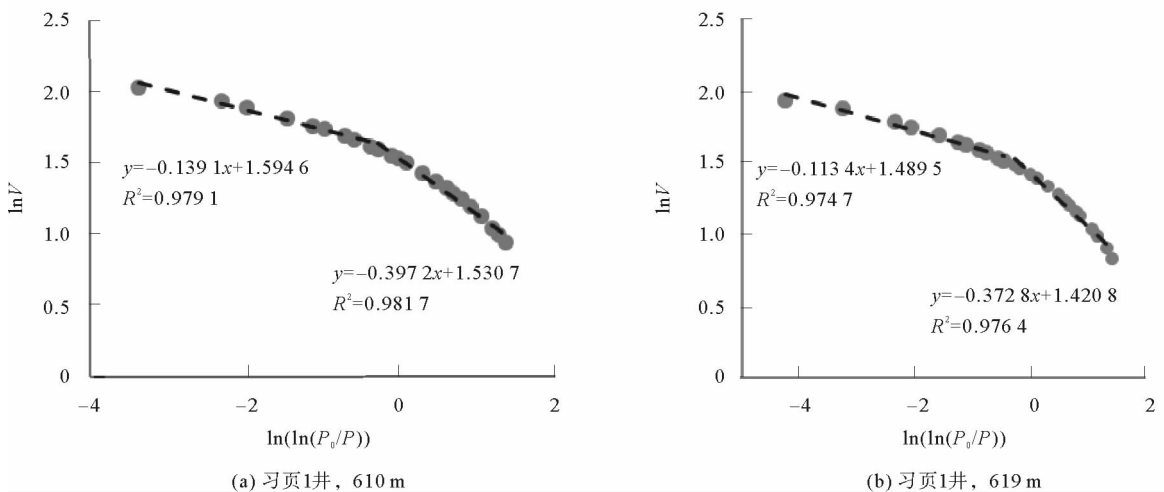


图6 习页1井页岩孔隙分形维数拟合曲线

Fig. 6 Fractal dimension fitting curve of shale pore in well Xiye 1

合曲线计算得出的分形维数为  $D_2$ 。对五峰-龙马溪组泥页岩样品的分形维数进行计算,  $D_1$  为 2.32~2.63, 平均值 2.5;  $D_2$  为 2.76~2.91, 平均 2.84。  $D_1$  数值接近 2.5, 大小适中;  $D_2$  数值均偏大, 更接近于 3(表 2), 表明五峰-龙马溪组泥页岩样品孔隙表面粗糙程度中等, 吸附能力中等, 孔隙结构比较复杂。

表 2 习页 1 井页岩分形维数拟合

Tab.2 Fractal dimension fitting of shale in well Xiye 1

井	深度/m	$D_1$	拟合方程	$R^2/D_1$	$D_2$	拟合方程	$R^2/D_2$
习页 1 井	625	2.60	$y = -0.404 2x + 1.247$	0.96	2.848 1	$y = -0.151 9x + 1.31$	0.992
	610	2.60	$y = -0.397 2x + 1.530$	0.98	2.860 9	$y = -0.139 1x + 1.59$	0.979
	622	2.36	$y = -0.642 0x + 1.572$	0.99	2.812 4	$y = -0.187 6x + 1.37$	0.953
	637	2.52	$y = -0.482 9x + 1.990$	0.945	2.893 5	$y = -0.106 5x + 2.06$	0.943
	629	2.32	$y = -0.566 9x + 1.381$	0.967	2.755 5	$y = -0.122 6x + 1.36$	0.910
	633	2.62	$y = -0.382 2x + 2.009$	0.959	2.871 4	$y = -0.128 6x + 2.05$	0.978
	644	2.58	$y = -0.423 3x + 2.101$	0.952	2.914 1	$y = -0.085 9x + 2.19$	0.880
	641	2.59	$y = -0.411 2x + 2.020$	0.964	2.853 8	$y = -0.146 2x + 2.06$	0.965
	616	2.42	$y = -0.578 0x + 1.625$	0.994	2.811 5	$y = -0.188 5x + 1.472$	0.953
	619	2.63	$y = -0.372 8x + 1.421$	0.976	2.886 6	$y = -0.113 4x + 1.489$	0.974
	648	2.55	$y = -0.452 3x + 1.969$	0.961	2.877 8	$y = -0.122 2x + 2.045$	0.931
	645	2.35	$y = -0.372 1x + 2.006$	0.960	2.815 6	$y = -0.134 9x + 2.030$	0.988

### 5 含气性特征

习页 1 井页岩样品的解吸气含气量为 0.63~2.81 m<sup>3</sup>/t, 而桐页 1 井页岩样品的解吸气含气量为 0.047 5~0.345 m<sup>3</sup>/t, 气体组分以 CH<sub>4</sub> 为主, 还有少量的 O<sub>2</sub> 和 CO<sub>2</sub>。传统观点认为, 乙烷的碳同位素最具母质的继承性, 其中油型气  $\delta^{13}C_2 < -29\%$ , 煤成气  $\delta^{13}C_2 > -28\%$ , 通过分析黔西北地区碳同位素和氢同位素特征发现, 五峰-龙马溪组页岩气为油型裂解气和煤成气, 以油型裂解气为主(图 7)。习页 1 井和桐页 1 井的钻探实践表明, 虽然区内页岩具有良好的成藏条件, 但两者含气性差异较大, 这主要是由黔西北凹陷的构造样式不同造成的, 桐梓地区地层断裂和褶皱发育, 地层水循环(自由交替带)深度大(800~1 000 m), 页岩埋深浅(<2 200 m), 局部甚至暴露地表, 因此桐梓地区页岩气保存条件相对较差, 且桐页 1 井紧邻遵义-贵阳断裂, 导致地下目的层与地表联通, 形成开放系统, 天然气散失, 仅获得较好的气显示, 但未见工业价值气流, 因此在满足基本页岩气成藏条件的基础上, 页岩气保存

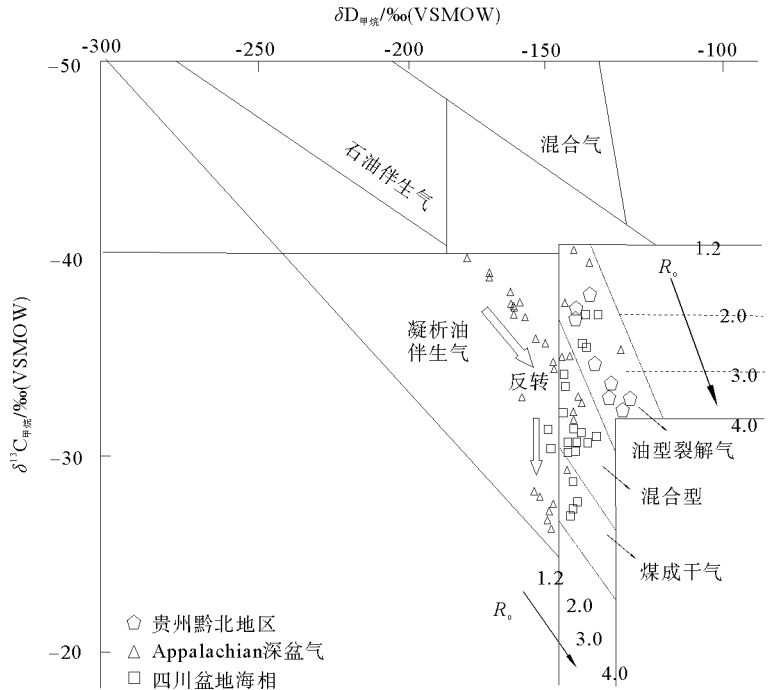


图 7 黔西北五峰-龙马溪气体来源

Fig.7 Gas source of Wufeng-Longmaxi formation in Northwest Guizhou

气散失, 仅获得较好的气显示, 但未见工业价值气流, 因此在满足基本页岩气成藏条件的基础上, 页岩气保存



条件是控制成藏的关键因素。

## 6 结论

1) 黔西北五峰-龙马溪组古生物以甲藻与浮游绿藻占优势,有机质类型以 I 型为主,有机质成熟度 2.34%~3.96%,有机碳含量高,表明黔西北五峰-龙马溪组具有良好的页岩气成藏条件。

2) 页岩孔隙主要为粒间孔、粒内孔、有机质孔和微裂缝,页岩样品的分形维数  $D_1$  为 2.3~2.63,平均值为 2.495 8,  $D_2$  为 2.76~2.9,平均值为 2.8。 $D_1$  数值接近 2.5,大小适中,  $D_2$  数值均偏大,更接近于 3,说明页岩孔隙表面粗糙程度中等,吸附能力中等,孔隙结构比较复杂,后期需要选择合适的压裂方式进行开采。

3) 黔西北地区五峰-龙马溪组黑色页岩样品的解吸气含气量为 0.05~2.81 m<sup>3</sup>/t,气体组分以 CH<sub>4</sub> 为主,页岩气为油型裂解气和煤成气,以油型裂解气为主。区内页岩具有良好的成藏条件,但两者含气性差异较大,这主要是由构造样式不同造成的,即保存条件是决定页岩气能否富集的关键因素。

### 参考文献:

- [1]JARVIE D M, HILL R J, RUBLE T E, et al. Unconventional shale-gas systems: The Mississippian Barnett shale of north-central Texas as one model for thermogenic shale-gas assessment[J]. AAPG Bulletin, 2007, 91(4): 475-499.
- [2]王志刚. 涪陵页岩气勘探开发重大突破与启示[J]. 石油与天然气地质, 2015, 36(1): 1-6.  
WANG Zhigang. Breakthrough of Fuling shale gas exploration and development and its inspiration[J]. Oil & Gas Geology, 2015, 36(1): 1-6.
- [3]郭彤楼, 张汉荣. 四川盆地焦石坝页岩气田形成与富集高产模式[J]. 石油勘探与开发, 2014, 41(1): 28-36.  
GUO Tonglou, ZHANG Hanrong. Formation and enrichment mode of Jiaoshiba shale gas field, Sichuan basin[J]. Petroleum Exploration and Development, 2014, 41(1): 28-36.
- [4]邹才能, 董大忠, 王社教, 等. 中国页岩气形成机理地质特征及资源潜力[J]. 石油勘探与开发, 2010, 37(6): 641-653.  
ZOU Caineng, DONG Dazhong, WANG Shejiao, et al. Geological characteristics, formation mechanism and resource potential of shale gas in China[J]. Petroleum Exploration and Development, 2010, 37(6): 641-653.
- [5]董大忠, 程克明, 王玉满, 等. 中国上扬子区下古生界页岩气形成条件及特征. 石油与天然气地质, 2010, 31(3): 288-299.  
DONG Dazhong, CHENG Keming, WANG Yuman, et al. Forming conditions and characteristics of shale gas in the Lower Paleozoic of the Upper Yangtze region, China[J]. Oil & Gas Geology, 2010, 31(3): 288-299.
- [6]童川川, 包书景, 周志, 等. 贵州正安奥陶-志留纪之交五峰-龙马溪组黑色页岩的划分与对比[J]. 地层学杂志, 2018, 42(2): 206-212.  
TONG Chuanchuan, BAO Shujing, ZHOU Zhi, et al. Subdivision and correlation of the Ordovician-Silurian Wufeng and Longmaxi black shales in Zheng'an county, Guizhou province[J]. Journal of Stratigraphy, 2018, 42(2): 206-212.
- [7]胡晨林, 张元福, 王志峰, 等. 贵州北部龙马溪组页岩特征及页岩气勘探前景[J]. 特种油气藏, 2014, 21(4): 44-47.  
HU Chenlin, ZHANG Yuanfu, WANG Zhifeng, et al. Shale features and exploration prospect of shale gas in Longmaxi formation in northern Guizhou[J]. Special Oil & Gas Reservoirs, 2014, 21(4): 44-47.
- [8]易同生, 高弟. 贵州龙马溪组页岩气储层特征及其分布规律[J]. 煤田地质与勘探, 2015, 43(3): 22-27.  
YI Tongsheng, GAO Di. Characteristics and distribution pattern of shale gas reservoir in Longmaxi formation in Guizhou province[J]. Coal Geology & Exploration, 2015, 43(3): 22-27.
- [9]雷子慧, 赵安坤, 余谦, 等. 贵州北部安场向斜下志留统龙马溪组页岩气保存条件[J]. 地质科技情报, 2016, 35(4): 121-127.  
LEI Zihui, ZHAO Ankun, YU Qian, et al. Preservation of shale gas in Lower Silurian Longmaxi formation in Anchang syncline unit in northern Guizhou, South China[J]. Geological Science and Technology Information, 2016, 35(4): 121-127.
- [10]林家善, 刘建清, 冯伟明, 等. 黔北下志留统龙马溪组烃源岩有机地球化学特征及其古环境意义[J]. 沉积与特提斯地质, 2014, 34(2): 79-85.  
LIN Jiashan, LIU Jianqing, FENG Weiming, et al. Organic geochemical signatures and palaeo-environmental implications for the source rocks from the Lower Silurian Longmaxi formation in northern Guizhou[J]. Sedimentary Geology and Tethyan Geology, 2014, 34(2): 79-85.
- [11]PETER M S. The Late Ordovician mass extinction[J]. Annual Review of Earth and Planetary Sciences, 2001, 29: 331-64.
- [12]CHEN X, MELCHIN M J. Patterns and processes of Latest Ordovician graptolite extinction and recovery based on data

from South China[J]. *Journal of Paleontology*, 2005, 79(5): 842-861.

- [13] 袁俊亮, 邓金根, 张定宇, 等. 页岩气储层可压裂性评价技术[J]. *石油学报*, 2013, 34(3): 523-527.  
YUAN Junliang, DENG Jingen, ZHANG Dingyu, et al. Fracability evaluation of shale gas reservoirs[J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2013, 34(3): 523-527.
- [14] 王玉满, 董大忠, 李建忠, 等. 川南下志留统龙马溪组页岩气储层特征[J]. *石油学报*, 2012, 33(4): 551-561.  
WANG Yuman, DONG Dazhong, LI Jianzhong, et al. Reservoir characteristics of shale gas in Longmaxi formation of Lower Silurian, Southern Sichuan[J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2012, 33(4): 551-561.
- [15] BU H L, JU Y W, TAN J Q, et al. Fractal characteristics of pores in non-marine shales from the Huainan coalfield, Eastern China[J]. *Journal of Natural Gas Science and Engineering*, 2015, 24: 66-177.
- [16] LIU X J, XIONG J, LIANG L X. Investigation of pore structure and fractal characteristics of organic-rich Yanchang formation shale in central China by nitrogen adsorption/desorption analysis[J]. *Journal of Natural Gas Science and Engineering*, 2015, 22: 62-72.
- [17] LIU X, XIONG J, LIANG L. Investigation of pore structure and fractal characteristics of organic-rich Yanchang formation shale in central China by nitrogen adsorption/desorption analysis[J]. *Journal of Natural Gas Science & Engineering*, 2015, 22(7): 62-72.
- [18] 张鹏, 黄宇琪, 张金川, 等. 黔西北地区龙潭组海陆过渡相泥页岩孔隙分形特征[J]. *煤炭学报*, 2018, 43(6): 1580-1588.  
ZHANG Peng, HUANG Yuqi, ZHANG Jinchuan, et al. Fractal characteristics of the Longtan formation transitional shale in northwest Guizhou[J]. *Journal of China Coal Society*, 2018, 43(6): 1580-1588.

(责任编辑:高丽华)

---

#### (上接第 24 页)

- [15] 王勇, 钟建华. 湖盆扇三角洲露头特征及与油气的关系[J]. *油气地质与采收率*, 2010, 17(3): 6-11.  
WANG Yong, ZHONG Jianhua. Lake basin fan-delta outcrop features and its relationship with oil and gas[J]. *Petroleum Geology and Recovery Efficiency*, 2010, 17(3): 6-11.
- [16] XU F, ZHANG P H, ZHANG J L, et al. Diagenesis and diagenetic evolution of deltaic and neritic gas-bearing sandstones in the Lower Mingyuefeng formation of Paleogene, Lishui sag, East China Sea Shelf basin: Implications for depositional environments and sequence stratigraphy controls[J]. *Acta Geologica Sinica*, 2015, 89(5): 1625-1635.
- [17] YANG R C, FAN A P, VAN LOON A J, et al. Depositional and diagenetic controls on sandstone reservoirs with low porosity and low permeability in the Eastern Sulige gas field, China[J]. *Acta Geologica Sinica*, 2014, 88(5): 1513-1534.
- [18] 陈春强, 樊太亮, 吴丽艳, 等. 扇三角洲沉积微相特征与储集层“四性”的关系-以泌阳凹陷安棚油田为例[J]. *石油天然气学报(江汉石油学院学报)*, 2005, 27(4): 11-13.
- [19] SULLIVAN K B, MCBRIDE E F. Diagenesis of sandstones at shale contacts and diagenetic formation[J]. *AAPG Bulletin*, 1991, 75(1): 121-138.

(责任编辑:高丽华)